

УДК 629.78

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЛИНИЙ УРОВНЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОТОБРАЖЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЯ-ЛУНА

Купцов В. В., Старинова О. Л.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Объектом исследования является гравитационное поле трёх тел: Солнце, Земля и Луна в окрестности системы Земля-Луна. Цель работы заключается в определении характеристик, описывающих гравитационное поле количественно (гравитационный потенциал) и показывающих направление данного поля (векторные линии).

В классической небесной механике известны формулы для гравитационного потенциала и для расчёта векторных линий:

$$\begin{cases} U(x, y, z, t) = G \cdot \left(\frac{M_E}{|r_E|} + \frac{M_M}{|r_M|} + \frac{M_S}{|r_S|} \right) \\ |r_E| = \sqrt{(R_{SE}(t) - x)^2 + (R_{SE}(t) - y)^2 + z^2} \\ |r_M| = \sqrt{(R_{EM}(t) - x)^2 + (R_{SE}(t) - y)^2 + z^2} \\ |r_S| = \sqrt{x^2(t) + y^2(t) + z^2(t)} \end{cases} \quad (1)$$

$$\vec{g} = \frac{\partial U}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial U}{\partial z} \vec{k}, \quad (2)$$

где $|r_E|, |r_M|, |r_S|$ – расстояния до исследуемой точки от Земли, Луны и Солнца; $U(x, y, z, t)$ – гравитационный потенциал системы трёх тел; \vec{g} – гравитационное ускорение; R_{SE}, R_{EM} – расстояния между центрами Солнца и Земли, Земли и Луны, км; M_E, M_M, M_S – массы Земли, Луны и Солнца, кг; G – гравитационная постоянная, $\text{м}^3 \text{с}^{-2} \text{кг}^{-1}$; x, y, z – координаты исследуемой точки, км; t – время, час.

Гравитационный потенциал – скалярная функция координат и времени, численно равная работе, которую производит поле при переносе точечной единичной массы из какой-либо начальной точки в заданную точку. Эта работа не зависит от пути. Обычно в качестве начальной берут точку, находящуюся на бесконечно большом расстоянии от масс, создающих гравитационное поле. Данная величина количественно характеризует гравитационное поле в классической небесной механике. Гравитационное ускорение определяется градиентом потенциала (2) и является векторной характеристикой поля.

В данной работе по формулам (1) определён гравитационный потенциал и векторные линии гравитационного поля в системе трёх тел. Для автоматизированного решения данной задачи была разработана программа, реализующий расчёт гравитационного потенциала системы Земля-Луна с учётом притяжения Солнца для заданной даты, определяющей положение небесных тел.

На рисунках 1 и 2 приведены графики гравитационного потенциала системы трёх тел в окрестностях Земли и Луны, а также векторные линии гравитационных ускорений (рис. 3, 4).

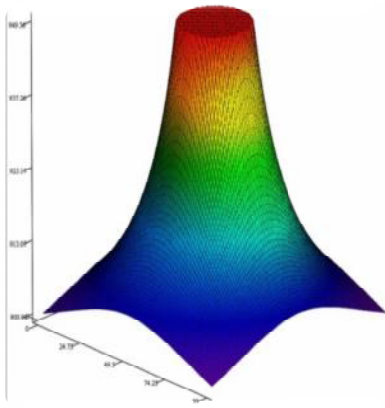


Рис. 1. Гравитационный потенциал в окрестности Земли

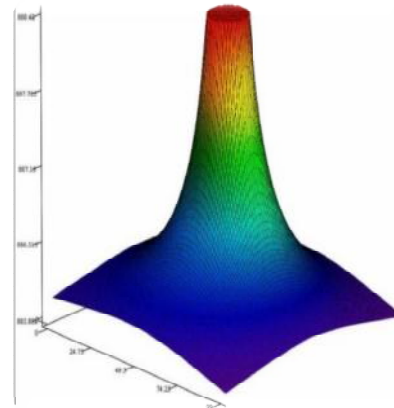


Рис. 2. Гравитационный потенциал в окрестности Луны

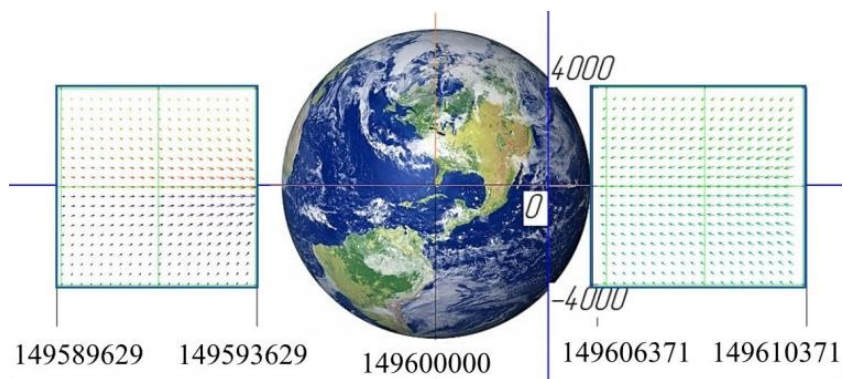


Рис. 3. Гравитационное ускорение в окрестности Земли

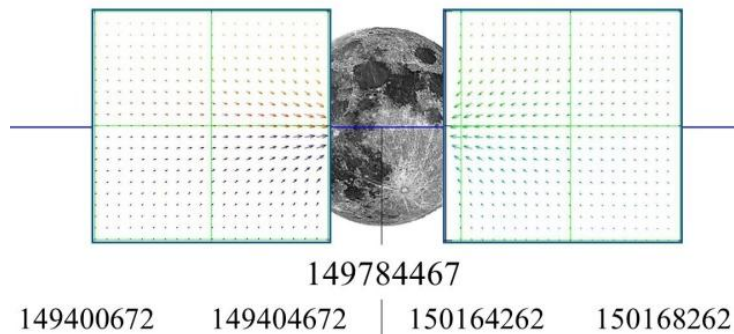


Рис. 4. Гравитационное ускорение в окрестности Луны

При моделировании гравитационного потенциала системы Солнце-Земля-Луна необходимо учитывать реальное положение небесных тел в заданный момент времени. В рамках данной работы была разработана программа моделирования и отображения движения системы Земля-Луна с учётом притяжения Солнца на заданную дату григорианского календаря.

Полученные результаты могут использоваться для определения траекторий полётов КА в системе Земля-Луна.